

Yansıtılmalı Dizi Antenlerin Nümerik Çözümü için Verimli Bir Yöntem

Erdiñ Erçil, Lale Alatan*, Özlem Aydın Çivi*
Radar Elektronik Harp ve İstihbarat Sistemleri Sektör Başkanlığı
ASELSAN
Ankara
eercil@aselsan.com.tr

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
lalatan@metu.edu.tr, ozlem@metu.edu.tr

Özet: Bu bildiriye yansıtılmalı dizi antenlerin nümerik çözümü için verimli bir yöntem önerilmektedir. Yöntem, karakteristik modların makro taban fonksiyonları olarak kullanımına dayanmaktadır. Bu kullanım sayesinde empedans matrisi indirgenmekte ve bilinmeyen sayısı önemli ölçüde azaltılmaktadır. Özellikle dizinin uzak alan ışınma örüntüsü söz konusu olduğunda, tek bir karakteristik modun kullanımı ile yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilebilmektedir. Yüksek doğruluk, orijinal empedans matrisindeki elektromanyetik bağlaşım bilgisinin korunması sayesinde sağlanmaktadır. Matris boyutunun indirgenmesine ek olarak, indirgenmiş matris terimlerinin verimli bir şekilde tablolaştırılması sayesinde matris doldurma süresi de kayda değer şekilde azaltılabilmektedir. Matris indirgeme ile elde edilen hızlanmanın seviyesi, önerilen analiz yöntemini tasarım amacıyla kullanmaya uygundur. 3.3 GHz saat hızındaki bir masaüstü bilgisayarda, 1000 elemanlı bir dizi için tablolaştırma 28 dakika sürmektedir. Tablolar elde edildiğinde ise verilen bir dizinin çözümü 0.38 saniyede yapılabilmektedir.

Abstract: In this study, an efficient method is proposed for the solution of reflectarray antennas. The method relies upon utilization of characteristic modes as macro basis functions. This utilization reduces the impedance matrix of the MoM and the number of unknowns. Especially, when the far field radiation pattern of the reflectarray is considered, a single characteristic mode yields accurate results. The accuracy is attained owing to preservation of the mutual coupling information in the original impedance matrix. In addition to reduction of the impedance matrix, the matrix fill time is significantly decreased by efficiently tabulating the reduced matrix terms. The acceleration obtained by matrix reduction allows the analysis method for design purposes. On a personal computer with 3.3 GHz clock speed, it takes 28 minutes to complete the tabulation. When the tables are at hand, it takes 0.38 seconds to find the far field radiation pattern of a given reflectarray.

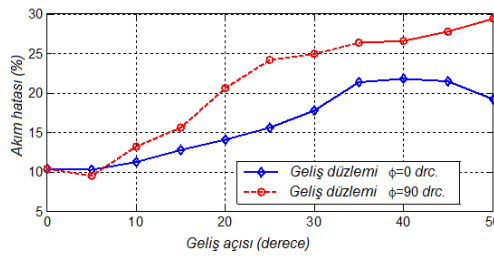
1. Giriş

Bu çalışmada, değişken boyutlu elemanlardan oluşan yansıtılmalı dizilerin çözümü için verimli bir yöntem geliştirilmiştir. Tekdüze elemanlardan oluşan diziler için karakteristik modların [1] makro taban fonksiyonu olarak kullanımı daha önce önerilmiştir [2]. Bu yaklaşıma göre öncelikle klasik moment metodu matrisi hesaplanmakta, daha sonra belli sayıda karakteristik mod ile empedans matrisi manipüle edilerek küçültülmüş bir empedans matrisi elde edilmektedir. Yeni bilinmeyenler, her bir anten elemanı için, kullanılan karakteristik mod setinin katsayıları olmaktadır. Bizim çalışmamızda bu çalışmadan farklı olarak, farklı boyutlarda elemanlar için aynı karakteristik modların kullanımı denenmiştir. Ayrıca yansıtılmalı dizi antenler özelinde, giriş empedansı gibi bir parametre söz konusu olmadığından, sadece uzak alan ışınma örüntüsünün doğru tahmin edilmesi yeterli olmaktadır. Çalışmada, sadece baskın olan karakteristik modun farklı boyutlardaki tüm elemanlar için kullanımı ile uzak alan ışınma örüntüsünün yüksek doğruluk ile elde edilebileceği gösterilmiştir. Bu yaklaşım ile bilinmeyen sayısı anten elemanı sayısına indirgenmektedir. [2]'de indirgenmiş matrisin elde edilebilmesi için orijinal matrisin öncelikle hesaplanması gerekmektedir. Bizim çalışmamızda, indirgenmiş matris terimlerinin verimli bir yöntem ile tablolaştırılması ve ihtiyaç duyulan terimin tabloda bulunarak indirgenmiş matrisin oluşturulması şeklinde bir teknik izlenmiştir. Bu tablolaştırma tekniği sayesinde verilen herhangi bir yansıtılmalı dizinin nümerik çözümü çok kısa süreler içinde gerçekleştirilebilmektedir.

Takip eden bölümlerde baskın karakteristik modun farklı eleman boyutları için kullanımı değerlendirmekte ve yukarıda bahsedilen verimli tablolaştırma yönteminin detayları anlatılmaktadır.

2. Baskın Karakteristik Modun Farklı Eleman Boyutları için Kullanımı

Bu konseptin gösterimi amacıyla 16 x 10 elemanlı deneysel bir yansıtıcı dizi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle karakteristik modların farklı elemanlarda yeniden kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla, dizideki farklı boyuttaki tüm elemanlar, aynı taban fonksiyonlar uzayda ölçeklendirilerek ayrıştırılmıştır. Diziyeye E ve H düzlemlerinde farklı geliş açılarında düzlemsel dalgalar gönderilerek belli problemler yaratılmıştır. Farklı boyutlardaki elemanların karakteristik modları tüm dizideki elemanlar için global bir makro taban fonksiyonu olarak kullanılmış ve [3]'te detayları verilen formülasyon kullanılarak indirgenmiş matris denklemleri elde edilmiştir. Çalışmada görülmüştür ki, rezonanstaki bir yama antenin baskın karakteristik modu, dizide yer alan farklı boyutlardaki tüm antenler için kullanıldığında, gerçek MoM akımı ile yaklaşık olarak hesaplanan akımın farkı minimum olmaktadır. Bu durumdaki (%) akım hatası Şekil 1'de gösterilmektedir.

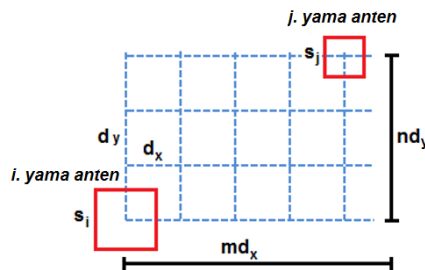


Şekil 1: Rezonanstaki yama antenin karakteristik modunun kullanımında gerçekleşen akım hatası.

2. İndirgenmiş MoM Matrisinin Hızlı Hesaplanması

Bu kısma kadar anlatılanlar MoM problemiindeki bilinmeyen sayısının önemli ölçüde azaltmakta ve matris evirme işlemlerinin de çok daha hızlı yapılmasına olanak vermektedir. Ancak, özel bir teknik uygulanmadığında indirgenmiş matrisin hesabı halen ciddi bir süre tutmaktadır. İndirgenmiş MoM matrisinde yer alan $J_1^T Z^{ij} J_1$ tipindeki matris elemanlarını, Z^{ij} matrisini hesaplamadan yakınsamak için tablolaştırma tekniğinin kullanımı değerlendirilmiştir. Ancak verilen bir dizi için Z^{ij} 'nin olası tüm değerlerinin hesaplanması da oldukça uzun sürmektedir. Zira Z^{ij} i . ve j . yamanın büyüklüklerine, yamalar arasındaki yatay ve dikey uzaklığa bağlıdır. Bu 4 boyutlu uzayda Z^{ij} için çok fazla kombinasyon söz konusudur. Çalışmada, 4 boyutlu bir fonksiyon olan $J_1^T Z^{ij} J_1$ 'nin iki boyutlu iki fonksiyonun çarpımı olarak (1)'deki gibi yakınsanabileceği gözlenmiştir. Denklem (1)'deki parametreler, Şekil 2'de açıklanmaktadır. Bu olgu sayesinde (1)'de belirtilen g ve h fonksiyonları ayrı ayrı tablolaştırılmaktadır. g fonksiyonu yamaların boyutuna, h fonksiyonu ise yamaların yatay ve dikey uzaklıklarına bağlıdır. Bu fonksiyonların tablolaştırılması, birinin girdileri taranırken diğerinin seçilen sabit bir girdi için hesaplanması ile yapılmaktadır. s_i ve s_j için olası P kadar değer, m ve n için olası Q kadar değer varsayılırsa $J_1^T Z^{ij} J_1$ 'in iki fonksiyonun çarpımı olarak yakınsanamaması durumunda $0.5P(P-1)Q^2$ sayıda MoM probleminin çözülmesi gerekli olacaktır. Ancak bu yakınsama sayesinde, tablolaştırma için çözülecek MoM problemi sayısı yaklaşık $0.5P(P-1) + Q^2$ seviyesine inmektedir.

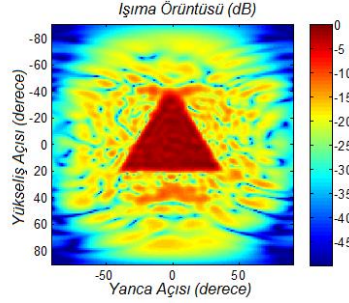
$$J_1^T Z^{ij} J_1 = f(s_i, s_j, m, n) \approx g(s_i, s_j)h(m, n) \quad (1)$$



Şekil 2. (1)'deki parametreler için açıklama

3. Örnek Uygulama

Önerilen yöntem örnek bir problemde uygulanarak uzak alandaki doğruluk düzeyi gösterilmiştir. Problemede, boynuz anten ile aydınlatılan, 400 elemanlı (20 x 20) bir dizi ele alınmıştır. Dizi örüntüsü, Şekil 3'te görüldüğü gibi üçgensel bir kapsama alanı sağlamaktadır.

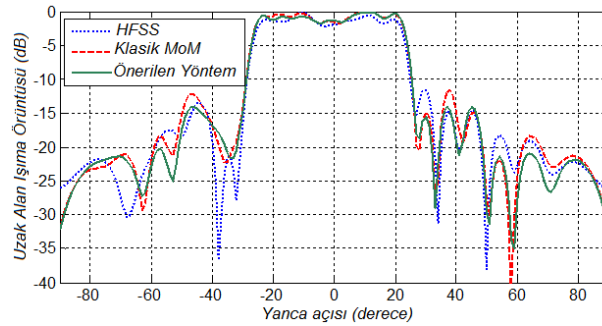


Şekil 3. Örnek problemde gerçekleşen dizi örüntüsü

Bu dizinin çözülebilmesi için öncelikle tablolaştırma yapılmıştır. Tablolaştırma yaklaşık 24 dakika sürmüştür. Tablolaştırma varlığında yama antenler üzerindeki akımların bulunması ve uzak alan hesabı 0.12 saniye sürmektedir. Aynı problem, Klasik Mom ve Ansys HFSS'te [4] de analiz edilmiştir. Yanca eksenindeki anten örüntüleri Şekil 4'te sunulmuştur. Tablo 1'de ise önerilen yöntemin çözüm süresi ve hafıza gereksinimi farklı çözüm yöntemleri ile kıyaslanmaktadır. Tablolaştırma süresi dahil edildiğinde dahi, önerilen yöntem diğer çözüm araçlarına göre önemli bir avantaj sağlamaktadır. Kaldı ki, tablolaştırma bir kez yapıldıktan sonra, farklı eleman boyutlarına sahip aynı boyuttaki bir dizi, ya da tablolaştırmada varsayılan dizi zarfına sığan daha küçük bir dizi en fazla 0.12 saniyede çözülecektir.

Tablo 1: Çözüm süresi ve hafıza gereksinimlerinin kıyaslanması

	Klasik MoM		Ansys HFSS	Önerilen Yöntem
Bilinmeyen sayısı	70400		2574001	400
Çözüm süresi	Gauss Eleme Yöntemi	Conj. Grad.	~2 saat	0.12 saniye
	~6.5 saat	~2 saat		
Hafıza gereksinimi	36.9 GB		60.4 GB	1.22 MB



Şekil 4. Önerilen yöntem ile elde edilen uzak alan örüntüsünün diğer yöntemler ile kıyaslanması.

4. Kaynaklar

- [1]. R. Harrington ve J. Mautz, "Theory of characteristic modes for conducting bodies," IEEE Trans. Antennas Propag, Cilt.19, no.5, sf. 622– 628, Eylül 1971.
- [2]. G. Angiulli, G. Amendola, G. Di Massa, "Application of Characteristic Modes to the Analysis of Scattering from Microstrip Antennas", Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Cilt 14, no. 8, sf. 1063-1081, 2000.
- [3]. E. Erçil, L. Alatan, Ö. A. Çivi, "An Efficient Numerical Solution Method for Reflectarrays of Varying Element Sizes", IEEE Trans. Antennas Propag, Cilt.63, no.12, sf. 5668–5676, Aralık 2015.
- [4]. HFSS: High Frequency Structure Simulator Based on the Finite Element Method, v.15, Ansys Inc., 2014.